

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

JESSE WILLIAN ANDRETTA DUTRA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO
PARA CONTAGEM DE VEÍCULOS EM VIAS URBANAS

Joinville
2018

JESSE WILLIAN ANDRETTA DUTRA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO
PARA CONTAGEM DE VEÍCULOS EM VIAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, no curso Engenharia de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Augusto Isler

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Tatiana Renata Garcia

Joinville
2018

RESUMO

O incentivo governamental ao meio de transporte individual resultou no aumento do número de veículos e congestionamentos nas grandes cidades brasileiras. Através da Engenharia de Tráfego é possível otimizar o sistema urbano, embasando-se em dados de fluxo de veículos no sistema de tráfego. Este trabalho analisa os métodos de contagem de tráfego e desenvolve uma solução alternativa para contagem automática. O princípio de funcionamento do protótipo desenvolvido tem por base o cálculo da distância entre a parte inferior dos veículos e o dispositivo. Através de um algoritmo desenvolvido para análise do conjunto de dados obtidos pelo sensor laser, atingiu-se uma taxa de acerto de aproximadamente 90% no número de veículos quando comparado com a contagem manual. Por ter tamanho reduzido, facilidade de programação e instalação, o dispositivo desenvolvido é uma alternativa a obtenção dos dados necessários para estudos de impacto de vizinhança, calibração de semáforos, estimação do nível de serviço nas vias e validação dos modelos de alocação de tráfego.

Palavras-chave: Engenharia de Tráfego. Contagem de Veículos. Sensor laser.

ABSTRACT

The government's incentive to individual means of transport resulted in the increase of the number of vehicles on the roads and the traffic jam in Brazil's great metropolitan cities. It is possible to optimize the urban system through Traffic Engineering, based on the data of vehicles influx on the traffic system. This research analyzes traffic counting methods and develops an alternate way for automatic counting. The operating principle of the developed prototype is based on the calculation of the distance between the back of the vehicles and the device. Through an algorithm developed to analyze the data set obtained by the laser sensor, an accuracy rate of approximately 90% in the number of vehicles was reached when compared to manual counting. Due to its small size, ease of programming and installation, the developed device is an alternative to obtaining the necessary data for neighborhood impact studies, traffic light calibration, service level estimation on the roads and validation of traffic allocation models

Keywords: Traffic Engineering. Vehicle counting. Laser sensor.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar os momentos difíceis.

Ao meu pai Nelson (in memoriam), se hoje estou aqui, devo muitas coisas a ele e por seus ensinamentos e valores passados.

A minha família, em especial minha mãe, Dilma, pelo incentivo e apoio incondicional que sempre me deram.

Aos amigos que fiz durante o curso, os quais trouxeram momentos de alegria e descontração durante a graduação.

Ao meu orientador, professor Cassiano, por acreditar no projeto e dar todo o apoio e orientação.

A minha coorientadora, professora Tatiana, por todo apoio durante o desenvolvimento desse trabalho.

Por fim, à banca avaliadora, professora Christiane e Benjamin, pelo interesse e disponibilidade em participar desta avaliação.

*“If you do not run your
subconscious mind yourself,
someone else will run it for you.”*

Florence Scovel Shinn

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de ficha para contagem volumétrica	14
Figura 2 – Contador manual eletrônico	15
Figura 3 – Tablet para contagem de tráfego	15
Figura 4 – Configuração dos sensores com tubo pneumático	16
Figura 5 – Exemplo de uma instalação de laço indutivo	17
Figura 6 – Funcionamento do Radar Micro-ondas	18
Figura 7 – Montagem de câmera entre semáforos para obtenção de dados de tráfego	18
Figura 8 – Dispositivo USB com Microcontrolador JN5169 e Zigbee	20
Figura 9 – Componentes do Arduino Uno	22
Figura 10 – Intel Quark D2000	23
Figura 11 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor	23
Figura 12 – Sensor Laser VL53L0X	24
Figura 13 – Funcionamento do Sensor Ultrassônico HC-SR04	25
Figura 14 – Diagrama de tempo do Sensor Ultrassônico HC-SR04	25
Figura 15 – Sensor PIR HC-SR501 internament	26
Figura 16 – Visão Traseira do Sensor PIR HC-SR501	27
Figura 17 – Exemplo de Shield HC-05 tecnologia Bluetooth	28
Figura 18 – Etapas da pesquisa	29
Figura 19 – Posicionamento do sensor	30
Figura 20 – Protótipo em SolidWorks	32
Figura 21 – Foto do interior do protótipo impresso	32
Figura 22 – Foto da parte exterior do protótipo impresso	32
Figura 23 – Dispositivo em SolidWorks	33
Figura 24 – Código fonte do algoritmo utilizado no Arduino	34
Figura 25 – Coleta com tachão no período diurno	35
Figura 26 – Observação de um veículo no período diurno para o tachão	35
Figura 27 – Ruídos observados no período diurno para o tachão	36
Figura 28 – Coleta com tachão no período noturno	36
Figura 29 – Observação de um veículo no período noturno para o tachão	37
Figura 30 – Ruídos observados no período noturno para o tachão	37
Figura 31 – Coleta com tacha no período diurno	38
Figura 32 – Observação de um veículo no período diurno para a tacha	38
Figura 33 – Ruídos observados no período diurno para a tacha	39
Figura 34 – Observação de um veículo no período noturno para a tacha	39

Figura 35 – Ruídos observados no período noturno para a tacha	40
Figura 36 – Arquivo de dados	41
Figura 37 – Algoritmo para contagem automática	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Máxima capacidade de alcance com tempo de coleta 33ms	24
Tabela 2 – Acurácia de medição	24
Tabela 3 – Perfis de Medição	24
Tabela 4 – Características elétricas do Sensor Ultrassônico HC-SR04	25
Tabela 5 – Parâmetros de operação do Sensor Ultrassônico HC-SR04	26
Tabela 6 – Quantidade de veículos observados e contabilizados pelo protótipo	43
Tabela 7 – Erros percentuais entre veículos observados e contabilizados pelo protótipo	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	Justificativa	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Equipamentos e técnicas de coleta de dados em fluxos de tráfego	14
2.1.1	Contagem Manual	14
2.1.2	Tubo Pneumático	15
2.1.3	Detector de Laço Indutivo	16
2.1.4	Radar Micro-ondas	17
2.1.5	Processador de Vídeo e Imagem	18
2.2	Microcontroladores	20
2.2.1	JN5169	20
2.2.2	PIC16F887	20
2.2.3	ATmega328p	21
2.2.4	LPC2141/42/44/46/48	21
2.3	Plataformas de prototipagem eletrônica	21
2.3.1	Arduino Uno	21
2.3.2	Intel Quark D2000	22
2.4	Sensores	23
2.4.1	Sensor Laser	24
2.4.2	Sensor Ultrassônico	25
2.4.3	Sensor de Movimento	26
2.5	Shield Bluetooth	27
3	MÉTODO	29
3.1	Experimentação de Sensores	30
3.2	Montagem de protótipos	31
3.2.1	Tachão	31
3.2.2	Tacha	33
3.2.3	Código Arduino	33
3.3	Experimentos Preliminares	34
3.3.1	Tachão	35
3.3.2	Tacha	37

3.4	Escolha do Protótipo	40
3.5	Código para Contagem Automática	40
3.6	Aplicações do Protótipo	42
4	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população urbana, associado ao incentivo ao modo rodoviário a partir da segunda metade do século XX, implicou na redução da qualidade dos sistemas de transportes e encarecimento dos custos para a sociedade (VASCONCELLOS; CARVALHO; PEREIRA, 2011). Como consequência do crescimento populacional, desejo de locomoção e baixa qualidade no transporte público, o cidadão tende a adquirir um veículo para suprir sua necessidade de deslocamento, resultando na ampliação da frota de veículos e restringindo a operação dos sistemas de transporte público em detrimento do transporte individual (KOEHLER et al., 2009).

Assim, a mobilidade urbana tornou-se um tema importante a ser debatido, dado que afeta os usuários em função da necessidade de infraestrutura adequada e planejamento urbano ofertado pelo poder público. Em um contexto de aumento dos tempos de viagem, poluição e escassez de recursos, a busca pela eficiência dos deslocamentos urbanos resultou na criação de dispositivos e estratégias de controle de tráfego abrangidas pelos Sistemas Inteligentes de Transportes (CALEFFI, 2013).

Para melhoria da qualidade dos serviços prestados pelos municípios através da tomada de decisão sobre os processos de Engenharia de Tráfego, é essencial a obtenção de dados sobre as viagens realizadas sob determinadas condições de tráfego através de pesquisas e estudos adequados (PAIVA, 2010).

Considerando que os dados necessários para o planejamento podem não existir ou remeter a um período que não condiz com a atualidade, a sua obtenção pode implicar na contratação de equipes e aquisição de equipamentos especializados que demandam recursos monetários e de tempo. Entretanto, nem todos os municípios possuem orçamento disponível para esse fim ou estão sob o risco de contratação de serviços que fornecerão informações de pouca qualidade e/ou confiabilidade em termos dos requisitos necessários para o delineamento e execução de projetos eficientes.

Os dispositivos para obtenção dos dados sobre o fluxo de veículos nos sistemas de transportes são divididos em duas categorias: intrusivos e não intrusivos. Os intrusivos são aqueles que necessitam interromper o tráfego para sua instalação na via. Os não intrusivos têm a vantagem de não precisar interromper o fluxo na via, pois ficam instalados fora da pista de rolamento como é o caso da contagem por câmeras (MARTIN; FENG; WANG, 2003).

Cada dispositivo apresenta prós e contras, sendo o tipo de dado, acurácia, calibração, custo e confiabilidade os pontos importantes a serem estudados para escolha daquele que melhor se adequa ao propósito do projeto. Portanto, é pertinente a investigação de novas tecnologias e dispositivos para esse fim, que permitam a

recepção de dados sobre o tráfego de veículos, principalmente os automóveis que representam a maior proporção de entidades do fluxo de tráfego, e a conversão em informações úteis à tomada de decisão no âmbito do planejamento e operação dos sistemas urbanos de transporte.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de dispositivo para contagem de veículos em vias urbanas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as tecnologias existentes que possibilitem a obtenção de dados no sistema de tráfego urbano;
- Conceber um protótipo de hardware utilizando as tecnologias escolhidas entre as existentes, pelo desenvolvimento de funcionalidades de aquisição e processamento de dados;
- Verificar se o protótipo cumpre com o objetivo de obter dados e processá-los, convertendo-os em informações sobre o fluxo de veículos em vias urbanas.

1.2 Justificativa

Uma das possibilidades de aplicação de contagens de tráfego em vias urbanas é para estimativa de matrizes Origem-Destino (OD) que caracterizam os padrões de viagens entre localidades e o comportamento dos usuários mediante uma infraestrutura de transportes (BERTONCINI; KAWAMOTO, 2012). Essa matriz OD pode, inclusive, ser utilizada para avaliação de investimentos em novos sistemas (LEITE, 2003).

Além disso, o conhecimento do fluxo de veículos que percorrem as vias de um sistema de tráfego permite validar modelos de alocação de tráfego dada uma matriz OD conhecida, que têm como objetivo a análise da utilização da rede (LEITE, 2003).

Por outro lado, as informações sobre os fluxos que percorrem as vias também permitem estimar o nível de serviço do sistema de tráfego, uma medida de desempenho que pode ser monitorada e utilizada para a tomada de decisões sobre o investimento em infraestruturas de transporte (AASHTO, 1992).

Em outro exemplo, os fluxos de tráfego podem ser utilizados para definição dos tempos semaforicos em interseções, aumentando a eficiência desse tipo de equipamento de controle de tráfego pela redução de acidentes e atrasos.

Portanto, o presente estudo propõe uma alternativa de solução para o problema de obtenção de dados sobre o fluxo de tráfego em vias urbanas por um equipamento de recepção e processamento de dados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura caracterizada neste capítulo esta dividida em cinco temas: equipamentos e técnicas de coleta de dados em fluxos de tráfego; microcontroladores; plataformas de prototipagem eletrônica; sensores; e shields de comunicação.

2.1 Equipamentos e técnicas de coleta de dados em fluxos de tráfego

2.1.1 Contagem Manual

Método em que um ou mais pesquisadores realizam contagem volumétrica e classificatória através de anotações em fichas (Figura 1) e contadores manuais. Usualmente agrupa-se os veículos com características semelhantes durante a contagem em vias urbanas, por exemplo, nas categorias de veículos leves, ônibus e veículos pesados.

O contador manual eletrônico ilustrado na Figura 2 é uma alternativa às fichas para registro das contagens, registrando os dados em uma memória que podem ser transferidos para um computador posteriormente. Como vantagens, dispensa anotações e elimina eventuais erros das transcrições manuais, apesar de também exigir a dedicação de uma equipe para a contagem de tráfego (DNIT, 2006a).

Figura 1 – Exemplo de ficha para contagem volumétrica

CONTAGEM VOLUMÉTRICA

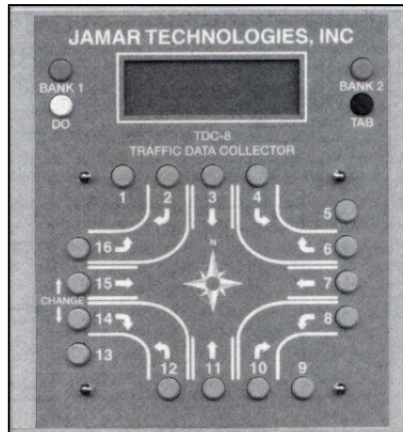
SEÇÃO: _____ RODOVIÁRIO: _____ CDD: PMV _____ TRONCO: _____ A _____ B _____

POSTO: _____ LOCAL: _____ DREÇÃO: _____ HORARIO: _____ PERÍODO: _____

VEÍCULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL
OUTROS																									
CARROS DE PASSO																									
CAMIONETAS																									
ÔNIBUS																									
2C																									
3C																									
4C																									
5C																									
6C																									
7C																									
8C																									
9C																									
10C																									
11C																									
12C																									
13C																									
14C																									
15C																									
16C																									
17C																									
18C																									
19C																									
20C																									
21C																									
22C																									
23C																									
24C																									
TOTAL																									

Fonte: DNIT (2006a).

Figura 2 – Contador manual eletrônico



Fonte: DNIT (2006a).

Com o avanço da tecnologia, métodos eletrônicos de contagem de tráfego como aplicativos em celulares e tablets estão sendo utilizados para auxílio do operador. Através dos aplicativos é possível classificar os veículos que trafegam pela via e fazer entrevistas com os motoristas para realização de matrizes Origem-Destino (OD), aumentando a qualidade dos dados obtidos. Após finalização de cada pesquisa os dados podem ser enviados a um servidor para acesso via web da pesquisa realizada (DEINT, 2015). A Figura 3 apresenta um tablet com o sistema utilizado para Semana Nacional de Pesquisa de Tráfego.

Figura 3 – Tablet para contagem de tráfego

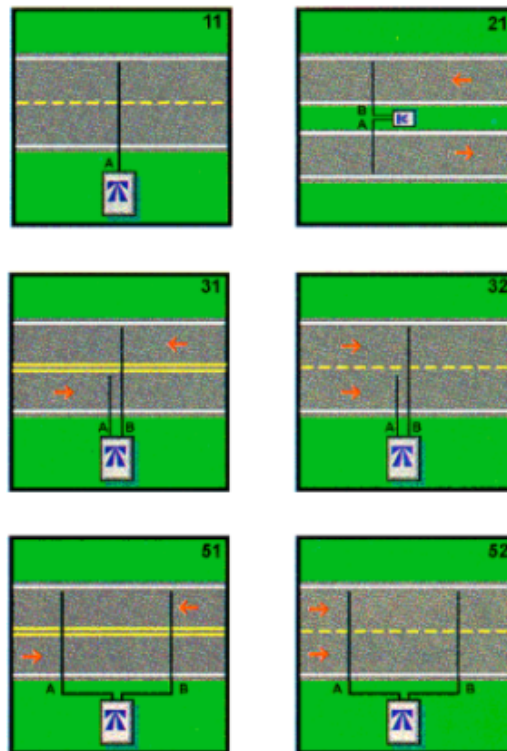


Fonte: DEINT (2015).

2.1.2 Tubo Pneumático

São dispositivos instalados perpendicularmente ao fluxo de veículos como ilustrado na Figura 4, que convertem a diferença de pressão gerada pela passagem dos pneus em um sinal elétrico enviado a um dispositivo que analisa o sinal e converte-o em uma informação referente à contagem de um veículo (OLIVEIRA, 2012).

Figura 4 – Configuração dos sensores com tubo pneumático



Fonte: DNIT (2018b).

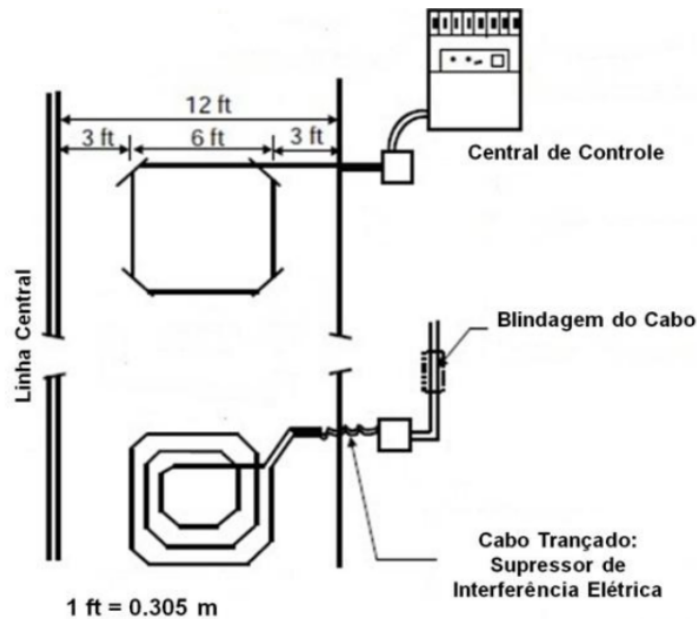
Devido a sua sensibilidade à intemperes e baixa acurácia na contagem de eixos em vias com alto volume de tráfego, o uso de tubos pneumáticos é indicado para contagens esporádicas, baseando-se na contagem e espaçamento entre eixos para classificação de veículos. Através dos dados coletados é possível utilizar algoritmos para cálculo dos intervalos entre veículos e, portanto, saturação do fluxo de tráfego (DNIT, 2018b).

Além de manutenção simples e baixo custo de aquisição, o sensor por tubo pneumático é prático desde a instalação para gravação de dados até a fonte de energia utilizada. Por necessitar de uma baixa potência para seu funcionamento, comumente é utilizado baterias recarregáveis como forma de energização (DNIT, 2018b).

2.1.3 Detector de Laço Indutivo

Segundo Klein et al. (2006) o detector de laço indutivo comumente utilizado para contagem de veículos é composto por: uma ou mais bobinas de fio isolado colocados no pavimento, um circuito de excitação e detecção (cujas frequências emitidas variam entre 10 KHz e 50KHz) e uma unidade eletrônica posicionada na lateral da via como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de uma instalação de laço indutivo



Fonte: Oliveira (2012).

Quando um objeto metálico passa por cima ou para sobre o laço indutivo ocorre uma diminuição da indutância, aumentando a frequência de oscilação e gerando um pulso elétrico para a unidade eletrônica. Para que seja possível a identificação da velocidade dos veículos é necessário a instalação de dois laços (KLEIN et al., 2006).

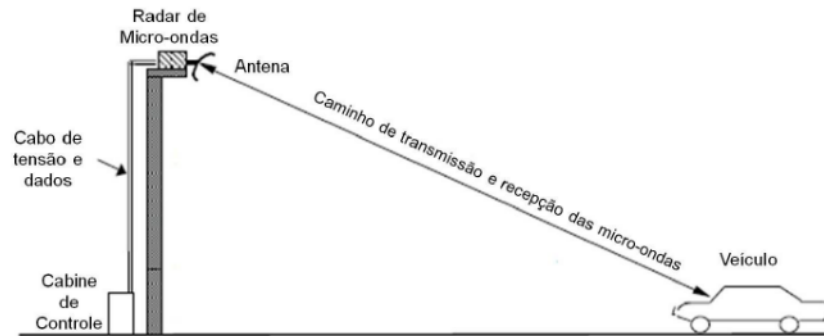
Por ser um equipamento intrusivo, tem desvantagem quando comparado a equipamentos de contagem não intrusivos pois há casos de recapamento da rodovia onde o dispositivo está instalado ou deterioração dos circuitos eletrônicos devido a exposição a temperatura ambiente. Além disso, os reparos exigem a interrupção de tráfego e aumentam os custos de operação do detector (DNIT, 2018b).

2.1.4 Radar Micro-ondas

Durante a Segunda Guerra Mundial foram desenvolvidos radares micro-ondas para detecção de objetos pela transmissão de sinais eletromagnéticos e recepção de ecos dos alvos em um espaço de cobertura. É classificado como micro-ondas devido ao comprimento de onda para transmissão de energia ser entre 1 e 30 cm, correspondendo a uma faixa de frequência de 1 GHz e 30 GHz (KLEIN et al., 2006).

No sistema urbano, é utilizado para coleta de dados dos veículos que trafegam em seu volume de cobertura. Um feixe de energia é transmitido na direção da via como ilustrado na Figura 6, cuja largura é controlada pelo tamanho da abertura de sua antena. A energia é refletida e retorna ao radar no momento em que um veículo passa pela área de transmissão, cujos dados são convertidos em informações como ocupação, volume, comprimento e velocidade (KLEIN et al., 2006).

Figura 6 – Funcionamento do Radar Micro-ondas



Fonte: Oliveira (2012).

Suas vantagens estão em fornecer uma medida precisa da velocidade dos veículos, operar em múltiplas pistas e em diferentes condições climáticas. Por outro lado, não é possível detectar veículos parados quando os sensores utilizam como princípio de funcionamento o efeito Doppler, sendo necessário o uso de um sensor que transmita uma onda em formato de dente de serra e a transmissão de sua frequência varie constantemente com o tempo (KLEIN et al., 2006).

2.1.5 Processador de Vídeo e Imagem

No princípio, câmeras de vídeo eram instaladas nas vias para monitoramento e fiscalização, com imagens em circuitos fechados de televisão acompanhadas por seres humanos. Dada a evolução dos processadores e algoritmos para interpretação das imagens atualmente é possível coletar dados do sistema de tráfego de forma automática como: fluxo de veículos, classificação, densidade de fluxo, reconhecimento de placas de licenciamento e velocidade dos veículos (KLEIN et al., 2006).

A Figura 7 representa uma câmera de vídeo instalada em um dispositivo de controle semafórico para realização de monitoramento, fiscalização e obtenção de dados de tráfego da via.

Figura 7 – Montagem de câmera entre semáforos para obtenção de dados de tráfego



Fonte: Klein et al. (2006).

O processamento para reconhecimento de veículos pode ser realizado com imagens coloridas ou em preto e branco, este com análise da variação do nível de cinza em grupos de elementos da imagem (*pixels*) contidos em quadros de vídeo (*video frames*). Os algoritmos precisam ser treinados para diferentes condições climáticas e períodos do dia, pois a variação de cinza em uma imagem noturna ou em dias chuvosos, por exemplo, pode resultar em interpretações errôneas.

A fácil instalação, manutenção e possibilidade de aumento da área de cobertura com instalação de mais câmeras permitiu que os sistemas intrusivos para contagem fossem substituídos por essa tecnologia em determinados locais.

2.2 Microcontroladores

Segundo Souza (2000) um microcontrolador é um processador de capacidade reduzida em comparação com os computadores pessoais de alta capacidade existentes atualmente, e capaz de efetuar processos lógicos através de uma linguagem de programação, tornando-o flexível à aplicação desejada pelo usuário.

Os microcontroladores estão se tornando cada vez mais acessíveis devido à redução do custo de produção e sua simplicidade de implementação, sendo a maioria aplicável em projetos de automação e controle (VIJAYAKUMAR et al., 2010).

2.2.1 JN5169

O JN5169 é um microcontrolador de baixo consumo de energia e de alto desempenho, com 512 KB de memória flash de instrução, 32 KB RAM e 4 KB de memória exclusiva para leitura (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory - EEPROM), sem a necessidade de memória externa.

O processador oferece codificação de alta eficiência através de instruções com largura de banda variável, com baixa potência e velocidade de clock programável. Tem incluso um transceptor compatível com 2.4 GHz IEEE 802.15.4 e permite a utilização mista de periféricos analógicos e digitais.

Na região destacada do circuito ilustrado na Figura 8 encontra-se um microcontrolador JN5169, demonstrando a aplicabilidade do microcontrolador quando agrupado a uma tecnologia de transmissão Zigbee.

Figura 8 – Dispositivo USB com Microcontrolador JN5169 e Zigbee



Fonte: Adaptado de NXP (2017a).

2.2.2 PIC16F887

O PIC16F887 é um microcontrolador de fácil programação, com instruções explicitadas em apenas 35 comandos simples, 368 bytes SRAM, 256 bytes de EEPROM memory, 14 canais de conversor Analógico-Digital(A/D) de 10-bit. As suas características tornam-o ideal para aplicações de nível avançado em soluções automotivas, industriais ou para consumidores finais (MICROCHIP, 2017).

2.2.3 ATmega328p

O microcontrolador Atmel 8-bit AVR RISC-based tem alto desempenho e baixo consumo de energia, 1 KB EEPROM e cinco modos de economia de energia selecionáveis via software. Sua voltagem está entre 1.8-5.5 volts (ATMEL, 2017).

2.2.4 LPC2141/42/44/46/48

Os microcontroladores LPC2141/42/44/46/48 (NXP, 2017b) são baseados em ARM7TDMI-S CPU de 16 bits ou 32 bits, com memória flash incorporada de alta velocidade variando de 32 KB a 512 KB e uma arquitetura de acelerador que permite a execução na máxima taxa de clock.

Devido ao seu pequeno tamanho e baixo consumo de energia, os LPC2141/42/44/46/48 são ideais para aplicações em que a miniaturização é um requisito fundamental.

2.3 Plataformas de prototipagem eletrônica

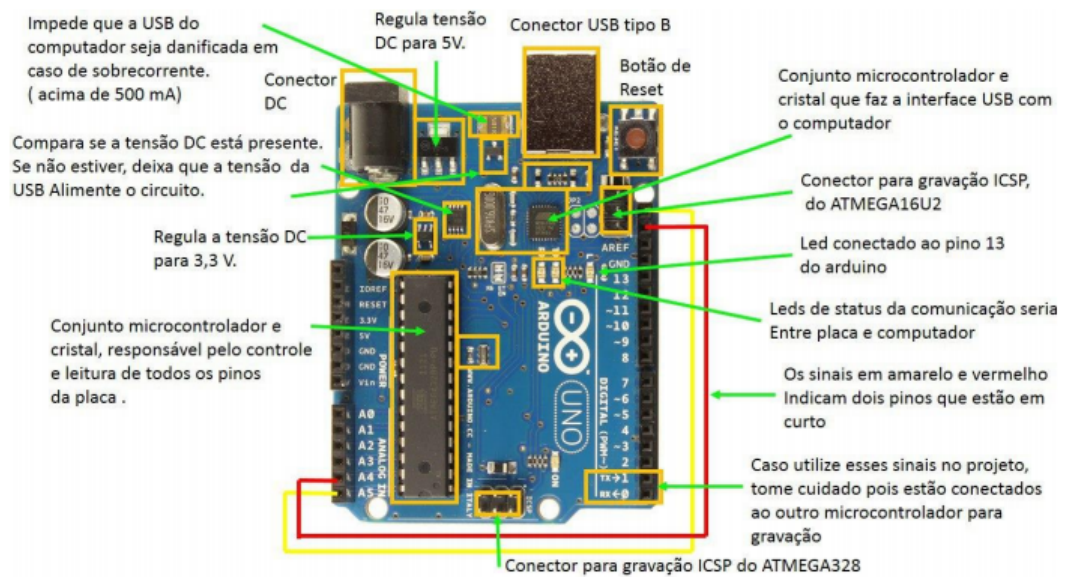
As plataformas de prototipagem eletrônica tem o objetivo de facilitar a realização de experimentos práticos, simplificando a montagem de uma placa eletrônica, que em geral exige tempo e habilidade do desenvolvedor (FONSECA; ALEXANDRE, 2011).

Atualmente, existem plataformas de prototipagem baseadas em microcontroladores como, por exemplo, Arduino Uno e Quark D2000 da Intel.

2.3.1 Arduino Uno

Arduino (ARDUINO, 2017) é uma plataforma eletrônica de código aberto, com hardware e software de fácil utilização e baixo custo. O Arduino/Genuino Uno é uma placa com base no ATmega328P, tem 14 pinos de entrada/saída digitais, 6 entradas analógicas, frequência de clock de 16 MHz (a 16 MHz quartz crystal), 32 KB flash memory, uma conexão USB e um botão de reinicialização. Basta conectá-lo a um computador através de um cabo USB com adaptador AC-DC ou com uma bateria. A Figura 9 caracteriza um Arduino Uno e seus componentes.

Figura 9 – Componentes do Arduino Uno



Fonte: Arduino (2017).

2.3.2 Intel Quark D2000

O microcontrolador Intel Quark D200 é fabricado pela Intel para prototipagem de soluções de baixo consumo para Internet das Coisas (Internet of Things - IoT).

Este microcontrolador de 32 bits é operado por bateria tipo moeda e contém um conjunto de instruções mais robusto que outros microcontroladores de nível básico, com uma frequência de clock de 32 MHz, 19 canais analógicos de entrada, 8 KB de SRAM, 32 KB de flash de instrução, acelerômetro de 6 eixos e magnetômetro com sensor de temperatura, com entrada USB para programação, depuração e alimentação. Possui ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - Integrated Development Environment) Intel Quark Microcontroller Software Interface e Zephyr Project que realiza operações em tempo real (INTEL, 2017). A Figura 10 apresenta a plataforma de prototipagem com suas características.

Figura 10 – Intel Quark D2000

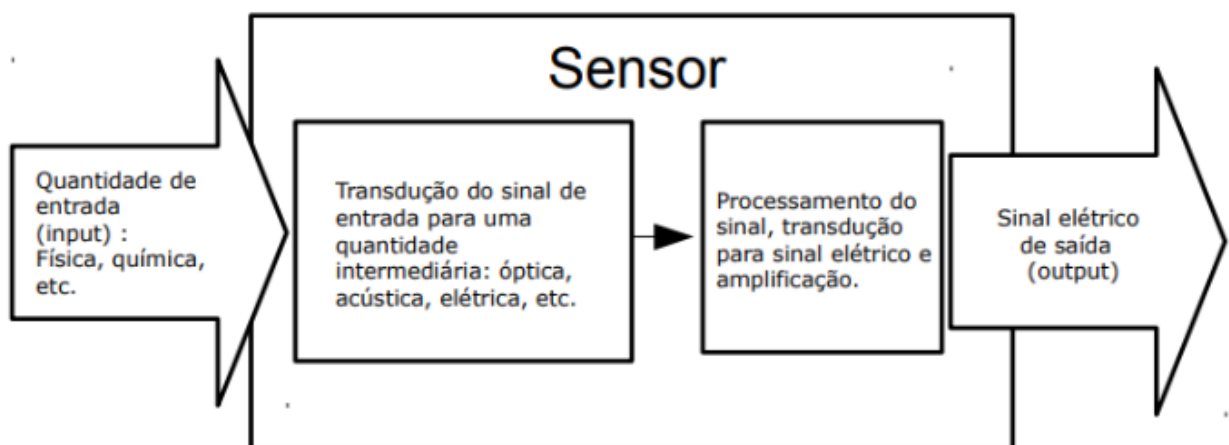


Fonte: Intel (2017).

2.4 Sensores

São ferramentas sensíveis ao ambiente, capazes de mensurar grandezas físicas, por exemplo, temperatura, pressão e distância. Através da variação de uma condição do ambiente, o dispositivo converte a excitação a que foi submetido em um pulso elétrico, o qual é transmitido para um processador (por exemplo, um microcontrolador) e convertido em informação, em um processo denominado de transdução (COVACEVICE, 2012). A Figura 11 representa resumidamente o funcionamento de um sensor e as subseções a seguir descrevem sucintamente os tipos de sensores estudados para potencial aplicação na construção do protótipo de dispositivo para contagem de veículos proposto neste trabalho.

Figura 11 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor

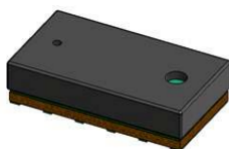


Fonte: Covacevice (2012).

2.4.1 Sensor Laser

O Sensor Laser VL53L0X representado na Figura 12 é utilizado para medir distâncias entre o dispositivo e um objeto, podendo medir até 2 metros de distância com tempo de resposta de aproximadamente 33 milissegundos.

Figura 12 – Sensor Laser VL53L0X



Fonte: STMicroeletronics (2018).

O sensor emite um raio laser circular invisível ao olho humano de 940 nanômetros através da tecnologia VCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser), a uma velocidade de 299.792.458 m/s. Quando o feixe é refletido e retorna ao receptor do sensor, a distância entre eles é calculada pela diferença de tempo de emissão e recepção multiplicada pela velocidade da luz (STMICROELETRONICS, 2018). A Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 apresentam as propriedades do sensor.

Tabela 1 – Máxima capacidade de alcance com tempo de coleta 33ms

Alcance Nível de Reflectância (Todo campo de visada)	Condições	Interior (1)	Nublado ao ar livre (1)
Alcance Branco (88%)	Típica	200cm+ (1)	80cm
	Mínimo	120cm	60cm
Alcance Cinza (17%)	Típica	80cm	50cm
	Mínimo	70cm	40cm

Fonte: STMicroeletronics (2018).

Tabela 2 – Acurácia de medição

Alcance do Nível de Reflectância (Todo campo de visada)	Interior (Sem Infravermelho)			Exterior		
	Distância	33 ms	66 ms	Distância	33 ms	66 ms
Alcance Branco (88%)	Até 120 cm	4%	3%	Até 60 cm	7%	6%
Alcance Cinza (17%)	até 70 cm	7%	6%	Até 40 cm	12%	9%

Fonte: STMicroeletronics (2018).

Tabela 3 – Perfis de Medição

Perfil de Medição	Tempo de Coleta	Desempenho Típico	Aplicação Típica
Modo Padrão	30 ms	1,2 m, acurácia conforme Tabela 2	Padrão
Alta Acurácia	200 ms	1,2 m, acurácia <+/- 3%	Medição precisa
Longo Alcance	30 ms	2 m, acurácia conforme Tabela 2	Apenas na ausência de radiação infravermelha
Alta Velocidade	20 ms	1,2 m, acurácia +/- 5%	Pouca acurácia

Fonte: STMicroeletronics (2018).

2.4.2 Sensor Ultrassônico

O Sensor Ultrassônico HC-SR04 (Figura 14) também é utilizado em aplicações para mensurar distâncias e, segundo An et al. (2018) é possível auxiliar na geração de imagens de ultrassom, sendo composto por um transmissor e um receptor.

Os princípios de medição do Sensor Ultrassônico iniciam-se com a transmissão de dados através de um sinal enviado ao transdutor com duração mínima de 10 nanossegundos. Após o recebimento do sinal enviado, são gerados 8 pulsos acústicos com uma frequência de 40KHz, no momento em que é gerado o primeiro pulso, o pino Echo tem valor de +5 volts.

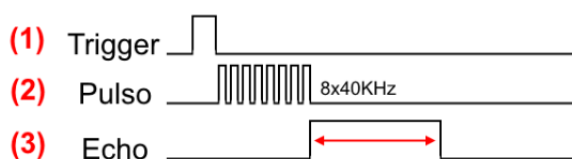
A onda é parcialmente refletida quando encontra um obstáculo com frequência de 40KHz, o pino Echo muda para um valor de 0 volts. O cálculo da distância é com referência na velocidade do som, aproximadamente 340 metros por segundo, multiplicado pelo intervalo de tempo em que o pino Echo permaneceu em estado de +5 volts (AN et al., 2018). A Figura 13 e Figura 14 ilustram, respectivamente o funcionamento do sensor e a conversão das ondas entre emissão e recepção. Na Tabela 4 e Tabela 5 são apresentadas as características do HC-SR04.

Figura 13 – Funcionamento do Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: Components101 (2018a).

Figura 14 – Diagrama de tempo do Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: FILIPEFLOP (2018).

Tabela 4 – Características elétricas do Sensor Ultrassônico HC-SR04

	Mínimo	Típico	Máximo
Voltagem de Alimentação (V)	4,5	5,0	5,5
Consumo em Operação (mA)	10	15	20
Consumo em Repouso (mA)	1,5	2,0	2,5

Fonte: An et al. (2018).

Tabela 5 – Parâmetros de operação do Sensor Ultrassônico HC-SR04

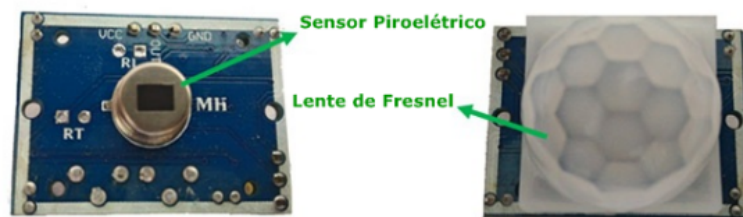
	Mínimo	Máximo
Frequência de Operação (kHz)	40	-
Intervalo Distância Mensurável (cm)	3	400
Resolução (cm)	-	0,3

Fonte: An et al. (2018).

2.4.3 Sensor de Movimento

O sensor PIR HC-SR501 (Figura 15), também é conhecido como sensor de movimento, é capaz de detectar a variação da radiação infravermelha de objetos por um módulo PIR (piroelétrico). Devido à alta sensibilidade por operar em baixa voltagem, é utilizado em diversos equipamentos eletrônicos, por exemplo, lâmpadas em garagens, banheiros etc., acionada apenas quando há presença de objetos em movimento no local (INC, 2018).

Figura 15 – Sensor PIR HC-SR501 internament

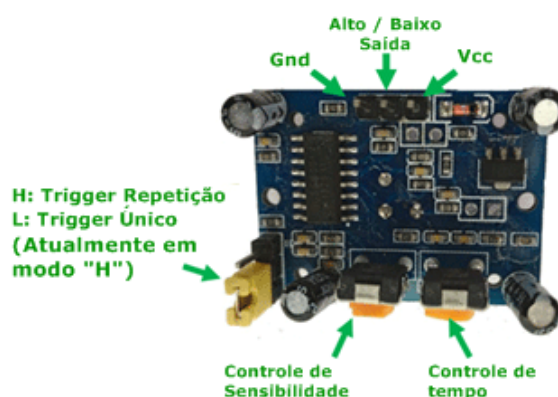


Fonte: Components101 (2018b).

O sensor pode operar em dois modos, modo de repetição "H" e não repetição "L". No primeiro, após detectar a presença de objetos, a saída é de +5 volts até que a atividade termine ou o tempo definido no potenciômetro seja atingido, voltando o sinal para o nível de 0 volts. Após esse processo ele reinicia automaticamente e está pronto para uma nova leitura. No modo de não repetição, após detectar uma presença humana ele envia um pulso de 0 volts e para de funcionar, precisando ser reiniciado manualmente (INC, 2018).

O controle de sensibilidade pode ser usado para aumentar a distância de alcance para o valor máximo de 7 metros ou diminuí-la para um mínimo de 3 metros. A Lente de Fresnel serve para concentrar os raios infravermelhos para melhor detecção. O consumo é de 65mA e a voltagem pode variar entre 4,5 volts e 20 volts (INC, 2018).

Figura 16 – Visão Traseira do Sensor PIR HC-SR501



Fonte: Components101 (2018b).

2.5 Shield Bluetooth

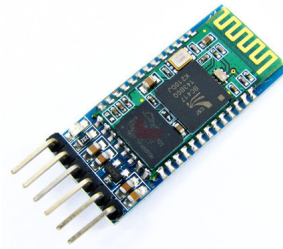
Os shields são placas de expansão de hardware que, quando encaixadas em plataformas de prototipagem eletrônica, adicionam funções que a placa principal não possui. Por exemplo, existem shields de motor para construção de pequenos robôs ou veículos robotizados, shields Ethernet utilizados para conectar a plataforma de desenvolvimento a uma rede local ou à internet.

O shield considerado na construção do protótipo de dispositivo para contagem de tráfego é o de sinal Bluetooth, para comunicação sem fio entre a plataforma de desenvolvimento e outro dispositivo, como smartphones ou computadores dotados de hardware com a funcionalidade de transmissão desse tipo de sinal.

Bluetooth é um padrão global de comunicação sem fio de baixo consumo de energia que opera por radiofrequência. A taxa de transferência de dados varia entre 1 Mbps e 2 Mbps, sendo eficiente para dispositivos que operam por longos períodos conectados a fonte de energia de pequena voltagem, como aqueles que utilizam células de bateria do tipo moeda ou dispositivos alimentados por energia alternativa, por exemplo, placas solares (BLUETOOTH, 2017).

Um shield como ilustrado na Figura 17 tem distância de cobertura de até 10 metros e seu funcionamento é por pareamento entre dois dispositivos, diferenciando-se pela segurança na transmissão dos dados, pois exige autenticação entre os dois dispositivos para que haja acesso e transferência de dados. O Bluetooth criptografa os dados a serem transmitidos e permite apenas que os dispositivos aprovados o decifrem (BLUETOOTH, 2017).

Figura 17 – Exemplo de Shield HC-05 tecnologia Bluetooth



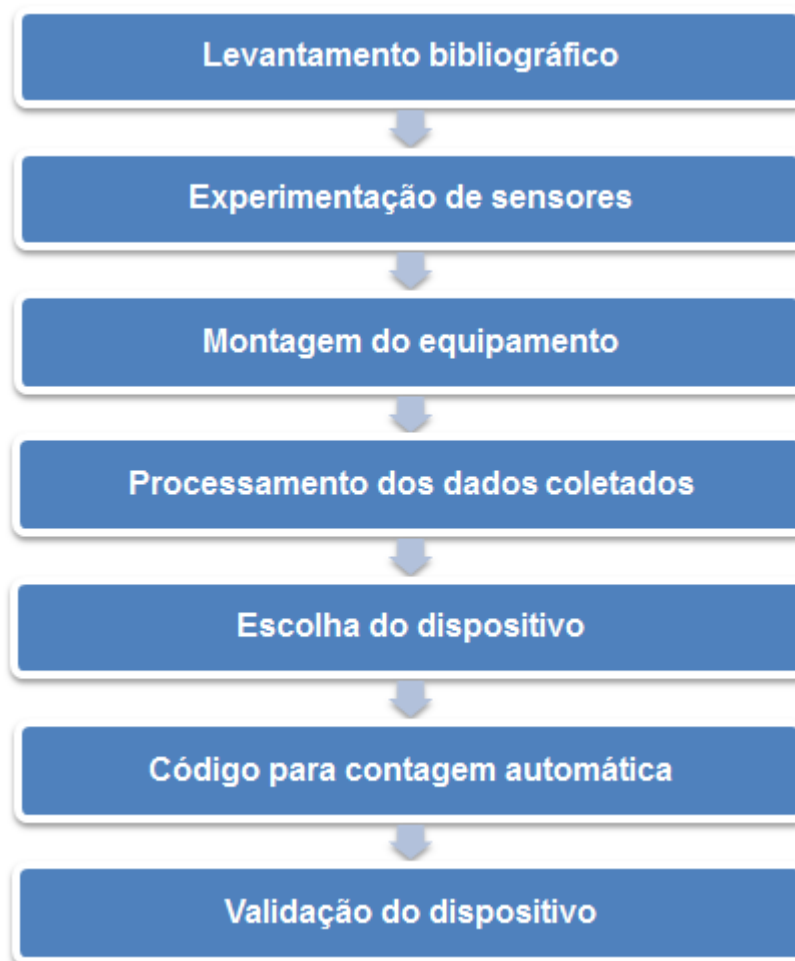
Fonte: FILIPEFLOP (2018).

Após o estudo das tecnologias existentes para desenvolvimento do protótipo proposto neste trabalho, os próximos capítulos apresentam o método considerado para sua montagem e validação, bem como os resultados obtidos após sua aplicação em circunstâncias reais.

3 MÉTODO

Neste capítulo são apresentados os procedimentos para desenvolvimento do protótipo de dispositivo para contagem de veículos em vias urbanas, que consiste em sete etapas conforme a Figura 18.

Figura 18 – Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

A etapa de revisão bibliográfica está descrita no capítulo anterior, tendo sido estudados os equipamentos e técnicas de coleta de dados em fluxos de tráfego, microcontroladores, plataformas de prototipagem eletrônica, sensores e shield para transmissão de dados, com intuito de obter conhecimento sobre as tecnologias existentes para condução deste trabalho.

Na próxima seção apresenta-se a experimentação dos sensores estudados no capítulo anterior.

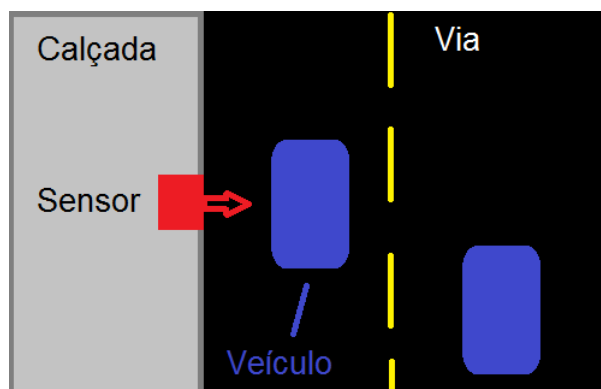
3.1 Experimentação de Sensores

Experimentos práticos prévios foram realizados nas vias públicas de Itapoá-SC utilizando-se os três sensores apresentados na revisão bibliográfica (Laser VL53L0Xm, Ultrassônico HC-SR04 e de movimento PIR HC-SR501), com o objetivo de identificar o sensor que melhor se adequaria ao objetivo proposto.

Como o enfoque deste trabalho é a construção de um protótipo de equipamento para contagem do fluxo de veículos, decidiu-se pela escolha da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Uno entre as descritas na revisão da literatura do capítulo anterior. O Arduino Uno satisfaz os requisitos de configuração e está disponível para utilização no Campus em Joinville na Universidade Federal de Santa Catarina. Para transferência de dados e posterior análise, o shield bluetooth HC-05 devido à disponibilidade na Universidade, tendo como meio de comunicação o pareamento com smartphone.

Primeiramente, o sensor Ultrassônico HC-SR04 foi posicionado na lateral da via sobre o meio-fio (Figura 19), com o objetivo de encontrar padrões nas mensurações quando os veículos passavam por ele. Os testes indicaram boa acurácia em distâncias de até 60 cm, não satisfazendo sua aplicação aos propósitos estabelecidos pelo fato do tamanho da via estudada ser de 3,6 m e os veículos passarem a uma distância entre 60 cm e 150 cm.

Figura 19 – Posicionamento do sensor



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo sensor testado foi o PIR HC-SR501, diminuindo-se o valor mínimo de alcance para 3 metros e intervalo de observações entre 3 segundos. Dado que um veículo com comprimento de aproximadamente 3,5 m a uma velocidade de 60 km/h levaria em torno de 0,21 segundos para percorrer seu próprio tamanho, o tempo entre observações inviabilizou a contagem pois nesse período poderia passar mais de um veículo que não seria detectado. Outro ponto foi a detecção de outros elementos como pessoas e animais que circulavam defronte o sensor durante os testes sem a possibilidade de diferenciá-los dos veículos.

O terceiro sensor foi o Laser VL53L0X, apresentando baixa acurácia em testes realizados no período diurno e melhores observações no período noturno, devido ao padrão nas leituras é possível através de um algoritmo eliminar observações que não condizem com o sistema de tráfego. A partir da configuração de intervalo entre observações igual a 24 milissegundos e alcance de 2 metros este sensor foi escolhido para identificação dos veículos e configuração do protótipo proposto neste trabalho.

3.2 Montagem de protótipos

A plataforma de prototipagem Arduino Uno, o sensor Laser VL53L0X e o shield Bluetooth HC-05 foram configurados para realizar observações de distância entre o protótipo e o veículo à medida que se este se aproximava do sensor.

Com o intuito de simular o posicionamento do dispositivo na via e diminuir a interferência da existência de um dispositivo sobre o comportamento dos motoristas, dois modelos de tachões comumente observados em vias urbanas para separação de faixas foram impressos em uma impressora tridimensional disponibilizada pelo “Laboratório de Inovação e Desenvolvimento de Produtos e Processos Sustentáveis” (LiD) da UFSC-Joinville: um tachão oco na cor amarela semelhante aos instalados nas vias com furos nas laterais; e uma tacha oca na cor preta com um furo na face superior.

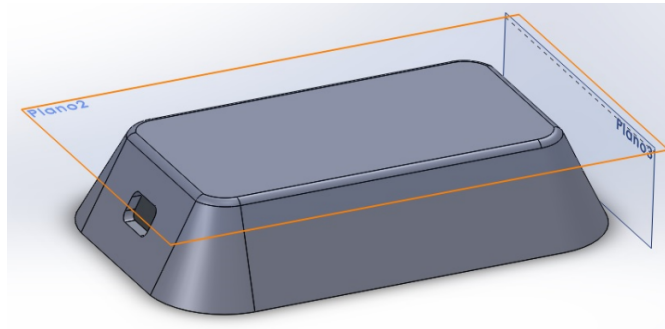
O custo do material para montagem do equipamento é de aproximadamente R\$250,00 para o tachão e R\$215,00 para tacha. Para memória de cálculo segue o preço aproximado dos equipamentos no Brasil: Arduino Uno R\$50,00, Shield Bluetooth HC-05 R\$30,00, Sensor Laser VL53L0X R\$60,00, Impressão 3D Tachão R\$110,00 e Tacha R\$75,00.

3.2.1 Tachão

O propósito da coleta de dados do tráfego de veículos em um dispositivo sob formato de tachão foi para mensuração nas duas vias quando instalado sobre a faixa que as separa, podendo também ser posicionado entre uma ciclofaixa e uma via. Neste trabalho foram realizados experimentos com apenas um sensor posicionado na lateral do tachão, entre uma ciclofaixa e uma via. O modelo do protótipo foi desenvolvido em SolidWorks (Figura 20) e impresso em uma impressora 3D.

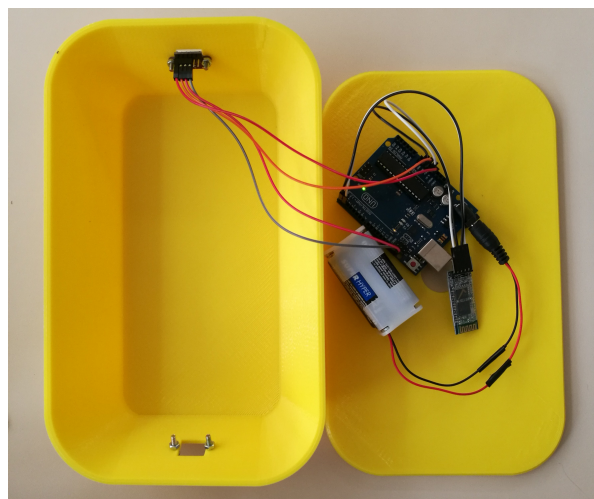
A Figura 21 ilustra o interior do dispositivo, composto por um Sensor Laser VL53L0X, um Shield Bluetooth HC05, um Arduino Uno e um suporte com 4 pilhas AA.

Figura 20 – Protótipo em SolidWorks



Fonte: Elaborado pelo autor.

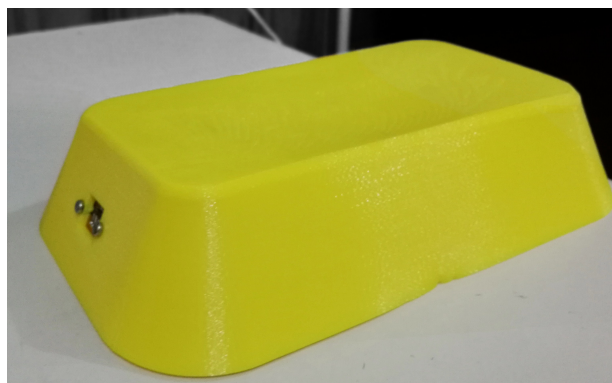
Figura 21 – Foto do interior do protótipo impresso



Fonte: Elaborado pelo autor.

O dispositivo completo com os sensores e sua estrutura após impressão é demonstrado na Figura 22, sendo este o modelo testado nas ruas.

Figura 22 – Foto da parte exterior do protótipo impresso



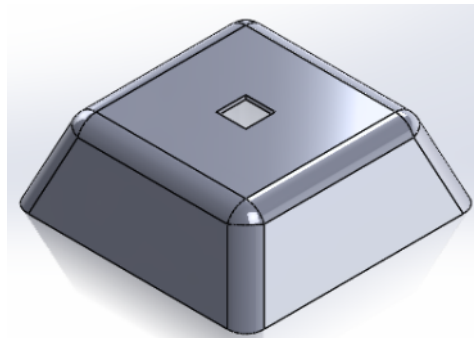
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Tacha

Um segundo modelo do protótipo foi desenvolvido devido aos padrões de leitura de distância quando o dispositivo é posicionado no meio da via, quando os veículos passam por cima do protótipo. O sensor capta a altura entre a parte inferior do veículo e a parte superior da tacha, aumentando a acurácia nas mensurações.

O modelo tridimensional do protótipo foi desenvolvido também em SolidWorks conforme ilustrado na Figura 23, com as mesmas configurações de hardware.

Figura 23 – Dispositivo em SolidWorks



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Código Arduino

O código compilado no Arduino Uno para obtenção de dados pelo sensor foi implementado em linguagem C++, de conhecimento prévio por parte do autor deste trabalho, tendo sido o primeiro desenvolvido para teste dos sensores escolhidos e melhor entendimento sobre a captação dos dados.

Para fins de validação das contagens, o instante de início da coleta de dados pelo sensor foi incluído neste código. Além disso, o fluxo nas seções de observações de tráfego foi filmado para posterior análise dos instantes de passagem dos veículos e comparação com as distâncias captadas pelos sensores nos tachões quanto ao instante de início das observações. O código de acionamento do dispositivo e coleta de dados é apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Código fonte do algoritmo utilizado no Arduino

```

#include <Wire.h> // Biblioteca Wire para comunicação de circuito integrado
#include <VL53LOX.h> // Biblioteca do sensor VL53LOX

// Declaração das variáveis sensor e time
VL53LOX sensor;
unsigned long time;
int medicao;
void setup()
{
    // Inicialização
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();

    sensor.init();
    sensor.setTimeout(500);

    // Aumenta o alcance para mais de 2 m
    sensor.setSignalRateLimit(0.1);
    sensor.setVcselPulsePeriod(VL53LOX::VcselPeriodPreRange, 18);
    sensor.setVcselPulsePeriod(VL53LOX::VcselPeriodFinalRange, 14);

    // O intervalo de tempo entre leituras passa a ser de aproximadamente 23 ms
    sensor.setMeasurementTimingBudget(20000);
}

void loop()
{
    time = millis();
    // Impressão do tempo de execução em milissegundos e das aferições em milímetros
    Serial.print(time);
    Serial.print(" \r");
    medicao = sensor.readRangeSingleMillimeters();
    /*
    Por definição o sensor imprime valores acima de 8000 quando não mensura algo,
    a condição a baixo faz com que nesses casos seja impresso o valor 0
    */
    if (medicao > 8000) {
        Serial.print("0");
    } else {
        Serial.print(medicao);
    }
    Serial.println();
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Experimentos Preliminares

As coletas de dados para teste dos dispositivos desenvolvidos foram realizadas em dias e horários diferentes. A seguir são apresentadas observações para cada modelo de dispositivo proposto, durante o dia e à noite, destacando-se a diferença dos padrões das observações.

3.3.1 Tachão

Na Figura 25 é demonstrado o posicionamento do tachão na via, na faixa que separa a ciclofaixa e a pista de rolamento devido ao receio de um carro danificar o protótipo, cuja chance era menor do que se fosse posicionado na faixa que divide a via.

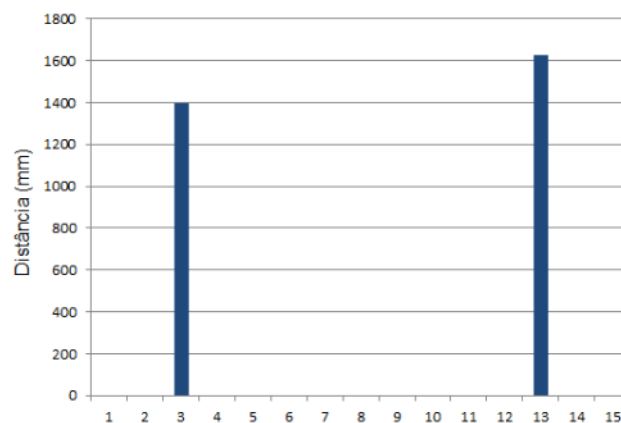
Figura 25 – Coleta com tachão no período diurno



Fonte: Elaborado pelo autor.

No experimento em 16/04/2018 às 16h em Itapoá-SC o dispositivo apresentou observações que dificultaram identificar um padrão no momento de passagem de um veículo, isso é devido ao desvio padrão ser alto quando somados as mensurações nulas em conjunto com o fato das distâncias mensuradas e a frequência mudarem a cada observação. A Figura 26 apresenta um gráfico das observações referentes à passagem de um veículo.

Figura 26 – Observação de um veículo no período diurno para o tachão

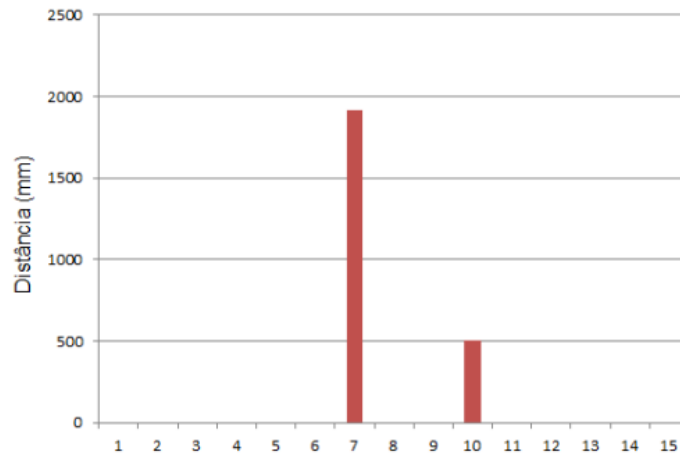


Fonte: Elaborado pelo autor.

Por outro lado, devido à sensibilidade do Laser VL53L0X, em alguns instantes de operação do dispositivo foram observadas alterações de distância pelo sensor que não correspondiam à passagem de um veículo, situação verificada por análise entre as observações indicadas pelo código implementado e as filmagens realizadas.

Neste texto, as observações indicadas pelo sensor que não correspondem à um veículo são denominadas “ruídos”, representadas como alteração das distâncias conforme ilustrado na Figura 27, com o Laser VL53L0X posicionado lateralmente e observações no período diurno.

Figura 27 – Ruídos observados no período diurno para o tachão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analogamente ao experimento realizado no período diurno, o protótipo foi instalado na mesma posição anterior, porém com observações realizadas no período noturno conforme representado na Figura 28, com o intuito de verificar a interferência da luminosidade nas leituras do sensor.

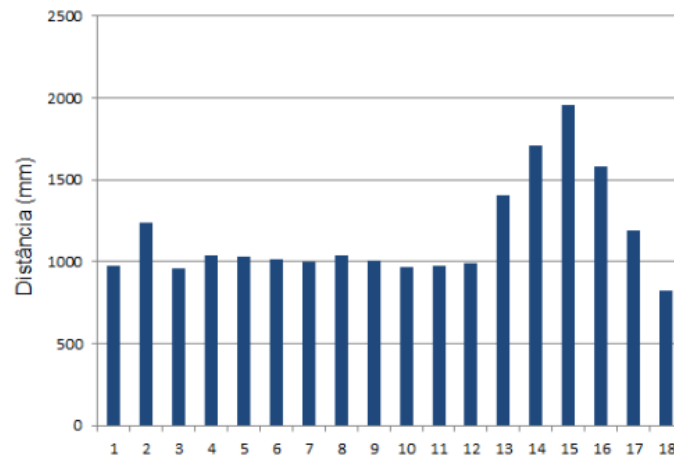
Figura 28 – Coleta com tachão no período noturno



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelo gráfico da Figura 29 é possível verificar que as medições noturnas indicaram um padrão de alteração das distâncias registradas pelo Laser na passagem de um veículo, com valor médio de 1161,83 mm e o desvio padrão de 234,33 mm.

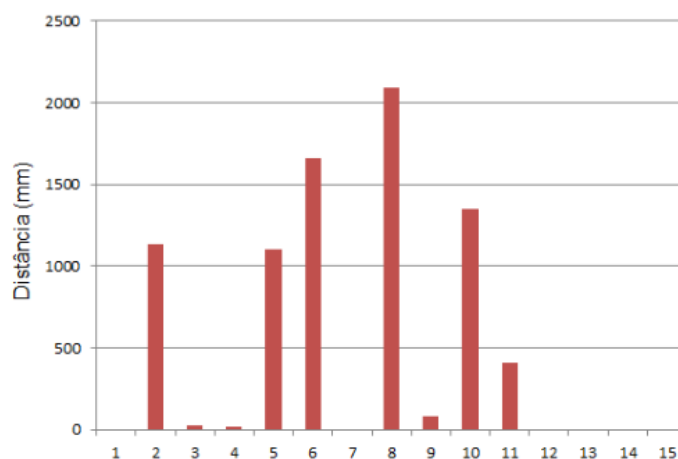
Figura 29 – Observação de um veículo no período noturno para o tachão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, também foram observados ruídos no período noturno em função do posicionamento do laser na lateral do dispositivo, conforme ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Ruídos observados no período noturno para o tachão



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2 Tacha

Nesta outra versão de protótipo, os veículos passam por cima da tacha e é medida a altura entre sua face superior e a parte inferior daqueles objetos. Entretanto, os veículos danificaram-na ao simplesmente colocá-la na pista de rolamento e, por isso, decidiu-se pela sua instalação em um local com tachões existentes na via, em uma posição intermediária entre as suas laterais haja visto que a maioria dos motoristas reduzem a velocidade nesses locais e buscam atravessar a seção de tráfego onde os tachões apresentam algum desgaste, conforme ilustrado na Figura 31.

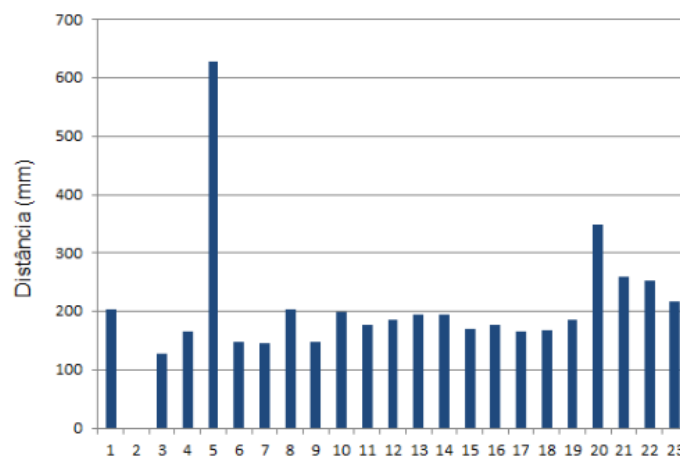
Figura 31 – Coleta com tacha no período diurno



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 32 apresenta as observações no momento em que o veículo atravessa o protótipo no experimento realizado em 20/05/2018 às 15h07 em Itapoá-SC, cuja distância média observada foi de 202,96 mm com desvio padrão de 60,2 mm.

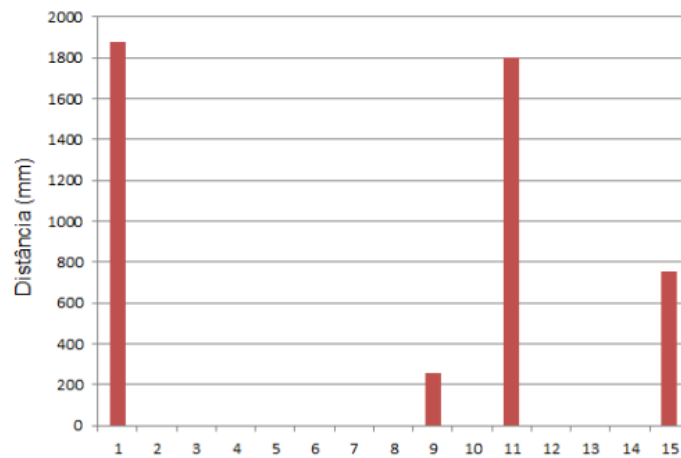
Figura 32 – Observação de um veículo no período diurno para a tacha



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, a mudança do posicionamento do sensor não eliminou completamente a presença de ruídos das observações conforme pode ser verificado na Figura 33, em que a distância média foi de 312,4 mm com desvio padrão de 465,71 mm sem que um veículo fosse observado.

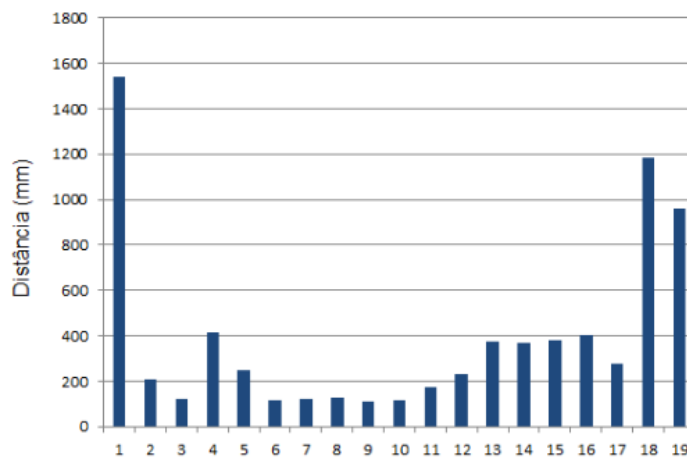
Figura 33 – Ruídos observados no período diurno para a tacha



Fonte: Elaborado pelo autor.

As observações realizadas quando um veículo atravessa o sensor no período noturno caracterizam de maneira destacada a presença do objeto conforme representado na Figura 34, cuja distância média verificada foi de 394,05 mm com desvio padrão de 267,24 mm.

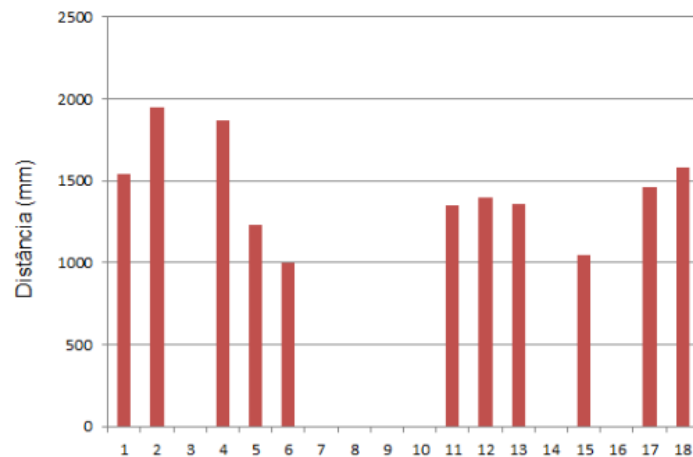
Figura 34 – Observação de um veículo no período noturno para a tacha



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, no período noturno foi observado um aumento dos ruídos em comparação ao período diurno conforme ilustrado na Figura 35, com distância média de 877,27 mm e desvio padrão de 682,32 mm.

Figura 35 – Ruídos observados no período noturno para a tacha



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Escolha do Protótipo

O protótipo escolhido como mais adequado para contagem de veículos em vias urbanas foi aquele que apresentou um padrão de distâncias na maior proporção de observações diurnas e noturnas.

No período diurno o tachão posicionado na lateral da via não indicou um padrão de leitura que permitisse identificar um veículo, pois os ruídos eram semelhantes aos veículos. Já os dados coletados com a tacha posicionada no meio da via, no mesmo período, apresentaram padrões característicos que permitiram diferenciar veículos de ruídos.

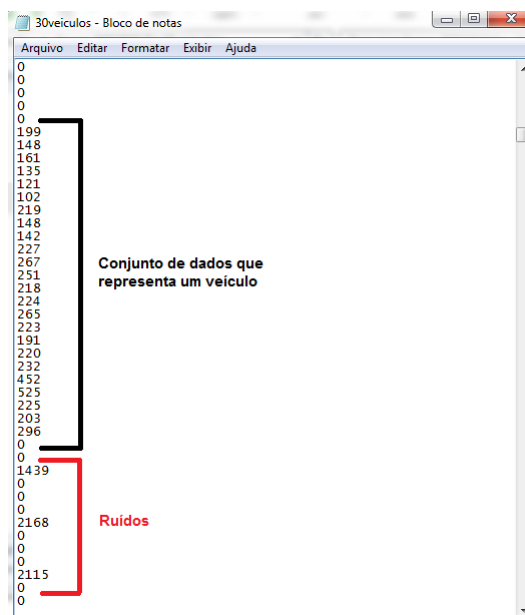
No período noturno, com o tachão posicionado na lateral da via, foram observados padrões de fácil identificação a uma distância maior que 800 mm e uma pequena quantidade de ruídos. No mesmo período, a tacha teve uma variação nas observações de distância, porém com baixo desvio padrão médio. Houve um aumento nos ruídos, porém com possibilidade de diferenciá-los devido às distâncias observadas serem maiores que 900 mm nesses casos.

Com o objetivo de contar veículos nos dois períodos, a tacha foi o dispositivo escolhido para a continuação do desenvolvimento do trabalho por apresentar um padrão nas observações nos dois períodos que permitiram distingui-las adequadamente entre veículos e ruídos.

3.5 Código para Contagem Automática

Um algoritmo foi desenvolvido baseado no desvio padrão médio do conjunto de dados obtidos após a identificação de padrões nas leituras durante a passagem de veículos. A Figura 36 representa a estrutura do arquivo de dados que o algoritmo utiliza para cálculo e retorno da contagem de veículos.

Figura 36 – Arquivo de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de um parâmetro que representa a quantidade de dados sequenciais utilizado para o cálculo da média e desvio padrão das distâncias é estabelecido após leitura do arquivo de dados, definido como cinco observações subsequentes por análises que indicaram serem suficientes para reconhecimento de um veículo, pois quando aumenta esse número de observações pode haver valores nulos devido a uma possível não mensuração do veículo, impactando no cálculo do desvio padrão e por fim na contagem.

A passagem de um veículo sobre o dispositivo implica na alteração das distâncias registradas da média e respectivo desvio padrão das cinco observações sucessivas. Assim, a passagem do veículo resulta em valor elevado de desvio padrão quando a sua frente passa pelo dispositivo (pois os valores iniciais do vetor de cinco posições são pequenos e os finais são elevados) e, portanto, na possibilidade de identificação do veículo quando esse desvio padrão é maior que um limiar preestabelecido. Testes preliminares indicaram que desvio padrão de 300 mm no período diurno e 120 mm no período noturno são valores adequados para o parâmetro.

A passagem da parte traseira do veículo sobre o dispositivo também implica na variação do desvio padrão e possibilidade de contagem duplicada do veículo. Para evitar essa situação, o algoritmo percorre as linhas subsequentes ao vetor de cinco posições em que a parte dianteira foi identificada e ignora os dados observados (cujos valores de distância referem-se à passagem do veículo), reiniciando o cálculo do desvio padrão de cinco observações sucessivas quando um novo registro for igual a zero.

Cabe salientar que, para eliminação de ruídos do sensor (destaque em vermelho da Figura 36), os valores acima de 1000 são descartados para evitar

que o desvio padrão coincida com os limites diurno e noturno. Adicionalmente, são descartados os dados sucessivos cujo desvio padrão é menor que 10, também para evitar que um veículo seja contabilizado se houver ruído.

O algoritmo implementado em linguagem C++ pode ser verificado na Figura 37, cuja condição de eliminação das observações subsequentes à passagem da dianteira do veículo pode ser verificada na estrutura de repetição com início na linha 81.

3.6 Aplicações do Protótipo

A seguir são apresentados os resultados obtidos pela realização dos experimentos com o protótipo em forma de tacha aplicando-se o algoritmo de contagem automática apresentado anteriormente, considerou-se como veículos: carros, caminhões, caminhonetes e ônibus.

Em um experimento realizado no período diurno com duração de 15 minutos foram contabilizados 30 veículos por observação do autor deste trabalho a partir de contagem manual, tal que o algoritmo sob limiar de desvio padrão de 120 mm, igual ao da contagem noturna, contabilizou 25 veículos, ou seja, um desvio de 16,7% para menos. Quando o desvio padrão foi alterado para 300 mm (valor de referência para o período devido), o algoritmo computou 29 veículos, resultando em desvio de 3,33% a menos do que o observado.

Em outro experimento de 15 minutos no período noturno foram observados 23 veículos por contagem manual e o algoritmo sob um desvio padrão médio de 120 mm contabilizou 21 veículos, 8,7% a menos do que de fato foi observado. Entretanto, alterando o desvio padrão para 300 mm, oposto ao período analisado, o algoritmo contabilizou 26 veículos, ou seja, um desvio de 13,0% a mais do que o esperado.

Em um intervalo de tempo maior, de 30 minutos no período diurno, foram contados manualmente 65 veículos e, considerando um desvio padrão de 300 mm, a contagem automática registrou 66 veículos, resultando em um aumento de 1,5% quanto ao número de veículos esperados

Um segundo experimento realizado no período noturno foram contados manualmente 69 veículos e, sob desvio padrão de 120 mm, a contagem automática registrou 66 veículos resultando 4,3% a menos contabilizados. Entretanto, este experimento teve duração de apenas 26 minutos, quando se desejava verificar um período de 30 minutos, pelo fato de que um veículo passou com a roda por cima do protótipo, inviabilizando a continuação do experimento.

A Tabela 6 resume a quantidade de veículos contados manualmente pelo observador e contabilizado pelo protótipo e algoritmo propostos em cada um dos experimentos descritos anteriormente. No processo de validação, para diminuição da

ocorrência de falso negativo e positivo, em todas as mensurações que representavam um veículo foram calculados o desvio padrão em conjunto com o acompanhamento da execução do algoritmo.

Tabela 6 – Quantidade de veículos observados e contabilizados pelo protótipo

Duração	15 minutos			30 minutos		26 minutos	
Tipo	Manual	Protótipo		Manual	Protótipo	Manual	Protótipo
Desvio Padrão	-	300 mm	120 mm	-	300 mm	-	120 mm
Diurno	30	29	25	65	66	-	-
Noturno	23	26	21	-	-	69	66

Analogamente, a Tabela 7 representa o erro percentual positivo ou negativo na estimativa do número de veículos pelo algoritmo.

Tabela 7 – Erros percentuais entre veículos observados e contabilizados pelo protótipo

Duração	15 minutos		30 minutos	26 minutos
Desvio Padrão	300 mm	120 mm	300 mm	120 mm
Diurno	-3,3%	-16,7%	1,5%	-
Noturno	13,0%	-8,7%	-	-4,3%

A partir da Tabela 6 e Tabela 7 é possível inferir que o erro médio e desvio padrão percentual na estimativa do número de veículos pelo protótipo considerando os respectivos desvios padrão estabelecidos para cada período (300 mm para diurno e 120 mm para noturno) são, respectivamente, de -3,7% e 4,2%, ou seja, em média o dispositivo minora o número real de veículos em 3,7%.

Figura 37 – Algoritmo para contagem automática

```

1  #include <iostream>
2  #include <fstream>
3  #include <string>
4  #include <math.h>
5  using namespace std;
6
7  int main(int argc, char *argv[])
8  {
9      // Entrada do arquivo com os dados coletados
10     ifstream theFile("Nome do arquivo com os dados.txt");
11     // Variavel representando a quantidade de observações que serão armazenadas no vetor
12     int n = 5;
13     /*
14     Desvio padrão médio que será considerado para representação de um veículo
15     em um conjunto de dados
16     */
17     int d = 120;
18     // Variaveis necessárias para calculo do desvio padrão e contagem de veículos
19     int dist = 0, media = 0, variancia = 0, desvp = 0, cont = 0;
20     // Vetor para armazenar observações
21     int vet[n];
22
23     if(!theFile.is_open())
24     {
25         cout << "Nao foi possivel abrir arquivo! Programa sera terminado!\n";
26         //Reseta o objeto leitura, para limpar memória do sistema
27         theFile.clear();
28     }
29     // Enquanto não terminar a leitura dos dados contidos no arquivo
30     while (!theFile.eof())
31     {
32         // O dado extraído do arquivo é armazenado na variavel "dist"
33         theFile >> dist;
34         // Quando a distancia mensurada for maior que 0 e menor que 100
35         if(dist > 0 && dist < 1000)
36         {
37             media = 0;
38             variancia = 0;
39             desvp = 0;
40             // Armazena em um vetor as mensurações maiores que 0
41             for(int i = 0; i < n; i++)
42             {
43                 vet[i] = dist;
44                 theFile >> dist;
45
46                 // Se a mensuração for igual a 0 o algoritmo para de armazenar dados no vetor
47                 if(dist == 0)
48                 {
49                     i = n;
50                 }
51             }
52             /* Se a variavel dist for diferente de zero significa que o vetor está completo
53             por observações e não houve no conjunto de dados um intervalo não mensurado
54             por exemplo: vet = [900, 800, 700, 800, 900];
55             */
56             if(dist != 0)
57             {
58                 for(int i = 0; i < n; i++)
59                 {
60                     media += vet[i];
61                 }
62                 // Calculo da média dos valores contidos no vetor
63                 media = media / n;
64                 // Calculo da variância
65                 for(int i = 0; i < n; i++)
66                 {
67                     variancia += (vet[i] - media) * (vet[i] - media);
68                 }
69
70                 variancia /= n;
71                 // Calculo do desvio padrão médio dos valores contidos no vetor
72                 desvp = sqrt(variancia);
73                 /*
74                 Se o desvio padrão calculado for menor ou igual a variavel "d"
75                 e maior do que 10, o algoritmo incrementa um veículo no contador
76                 */
77                 if(desvp <= d && desvp > 10)
78                 {
79                     cont++;
80                 }
81                 while(dist > 0)
82                 {
83                     theFile >> dist;
84                 }
85             }
86         }
87     }
88     // Imprime a quantidade de veículos contados no intervalo de tempo observado
89     cout << "Veiculos contados: " << cont << endl;
90     return 0;
91 }

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de dispositivo capaz de realizar contagem automática do tráfego de veículos no sistema urbano. Para isso, foi necessário estudar as tecnologias existentes, testar sensores e utilizar de plataformas de prototipagem eletrônica para desenvolvimento do dispositivo.

Foram coletados dados com dispositivos posicionados em locais diferentes, sendo um na lateral da via e outro ao meio. O primeiro com formato de tachão e o segundo de tacha devido a sua semelhança com as tachas posicionadas no meio da pista, tal que este apresentou melhor desempenho em testes preliminares e foi escolhido para aplicações práticas do protótipo.

Observou-se que em períodos diferentes do dia o desvio padrão no conjunto de mensurações que correspondiam a um veículo mudava, sendo necessário ajustar o limiar de identificação do objeto conforme o período. No período diurno o desvio padrão considerado que teve uma maior taxa de acerto foi de 300 mm e no período noturno foi de 120 mm.

Para validação do dispositivo foram realizados experimentos com duração e turnos diferentes. O experimento de trinta minutos no período diurno resultou em contagem pelo protótipo de 1,5% acima da quantidade esperada. No período noturno foi realizada uma coleta de dados de 26 minutos, cujo percentual de acerto equivale a 4,3% menos veículos do que a quantidade de fato observada.

Os testes práticos nas vias durante a escolha dos sensores e sua validação foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, tal que inúmeras hipóteses criadas no momento de estudo foram validadas ou invalidadas quando colocadas em prática.

A principal limitação do trabalho se deu durante os testes práticos pelo fato de que o dispositivo não tinha estrutura resistente a impactos, tendo sido necessário reconstruir o protótipo seis vezes após atropelamentos. Assim, uma possível extensão deste trabalho consiste na investigação de outros formatos e materiais que podem compor a estrutura que envolve os componentes eletrônicos do dispositivo com o objetivo de torná-lo resistente aos impactos dos veículos e à intempéries.

REFERÊNCIAS

- AN, M. B. V. et al. Aquisição de imagens ultrassônicas como experimento didático. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, 2018.
- AASHTO. **AASHTO Guidelines for Traffic Data Programs**. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1992. ISBN 9781560510543. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=M4RFAAAAYAAJ>>.
- ARDUINO. **Arduino Uno**. 2017. Disponível em: <www.arduino.cc>. Acesso em: 12/06/2017.
- ATMEL. **ATmega328p**. 2017. Disponível em: <<http://www.atmel.com>>. Acesso em: 15/06/2017.
- BERTONCINI, B. V.; KAWAMOTO, E. Modelagem da matriz od sintética a partir dos volumes observados nas interseções da rede de transportes. **TRANSPORTES**, v. 20, n. 2, p. 75–83, 2012.
- BLUETOOTH. **Bluetooth**. 2017. Disponível em: <<http://www.bluetooth.com>>. Acesso em: 26/05/2017.
- CALEFFI, F. Gerenciamento ativo de tráfego: estudo de caso de uma autoestrada brasileira. 2013.
- COMPONENTS101. **HC-SR04 Ultrasonic Sensor**. 2018a. Disponível em: <<https://components101.com/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet>>. Acesso em: 05/05/2018.
- COMPONENTS101. **HC-SR501 PIR Sensor**. 2018b. Disponível em: <<https://components101.com/hc-sr501-pir-sensor>>. Acesso em: 06/05/2018.
- COVACEVICE, A. Sensores baseados em ondas acústicas: introdução e aplicações. Campinas, SP, 2012.
- DEINT, D. d. I. e. T. **Pesquisa Nacional de Tráfego**. 2015. Disponível em: <http://portaldaestrategia.transportes.gov.br/images/Ciclo%20de%20Apresentacoes/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_PNT.pdf>. Acesso em: 05/07/2018.
- DNIT, D. N. d. I. d. T. **Manual de Estudos de Tráfego**. 2006a. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em: 20/05/2018.
- DNIT, D. N. d. I. e. T. **Pré-avaliação dos Equipamentos Disponíveis para Utilização das Pesagens**. 2018b. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/convenios-com-a-ufsc/tt-102-2007-fase-2.pdf>>. Acesso em: 19/05/2018.
- FILIPEFLOP. **Módulo Bluetooth RS232 HC-05**. 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-bluetooth-rs232-hc-05/>>. Acesso em: 20/05/2018.

FONSECA, E. G. da; ALEXANDRE, S. Tutorial sobre introdução a projetos utilizando o kit de desenvolvimento arduino. 2011.

INC, M. P. J. . A. **HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR**. 2018. Disponível em: <<https://www.mpja.com/download/31227sc.pdf>>. Acesso em: 06/05/2018.

INTEL. **Intel Quark D2000**. 2017. Disponível em: <<https://software.intel.com/pt-br/iot/hardware/d2000>>. Acesso em: 02/05/2017.

KLEIN, L. A. et al. **Traffic detector handbook: Volume I**. [S.l.], 2006.

KOEHLER, L. A. et al. Controle integrado de prioridade e retenção para operação de sistemas de transporte público. Florianópolis, SC, 2009.

LEITE, R. Aplicação dos modelos de estimação da mairtz origem-destino (o/d) em planejamento de transporte urbano. Campos dos Goytacazes, RJ, 2003.

MARTIN, P.; FENG, Y.; WANG, X. Detector technology evaluation, department of civil and environmental engineering. **University of Utah Traffic Laboratory, Final Report**, 2003.

MICROCHIP. **PIC16F887**. 2017. Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/pic16f887>>. Acesso em: 12/06/2017.

NXP. **JN5169**. 2017a. Disponível em: <<http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/more-processors/application-specific-mcus-mpus/ieee-802.15.4-wireless-mcus/zigbee-and-ieee802.15.4-wireless-microcontroller-with-512-kb-flash-32-kb-ram:JN5169>>. Acesso em: 09/06/2017.

NXP. **LPC2141/42/44/46/48**. 2017b. Disponível em: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC2141_42_44_46_48.pdf>. Acesso em: 16/06/2017.

OLIVEIRA, S. F. d. Sensor de presença para semáforo inteligente de baixo custo. Taubaté, SP, 2012.

PAIVA, C. **Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego**. [S.l.]: ANTP, 2010.

SOUZA, D. **Desbravando o PIC: Baseado no microcontrolador PIC 16F84**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2000.

STMICROELECTRONICS. **World's smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor**. 2018. Disponível em: <<http://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>>. Acesso em: 01/05/2018.

VASCONCELLOS, E. A.; CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. **Transporte e mobilidade urbana**. Brasília-DF, 2011.

VIJAYAKUMAR, P. et al. RTLS based intelligent transport system for brts using rfid & ieee 802.15. 4 modeled wireless mesh networking. In: **Proceedings of Conference on Mobile and Pervasive Computing**. Maribor, Eslovênia: [s.n.], 2010.